

Docket No.
699866/034
LRBO:pd

5/ Priority
Doc.
C. Millis
8-28-00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants : Hisashi Ohtsuka et al.
Serial No. : New Application
Filed : Herewith
For: : SOLID-STATE LASER APPARATUS EXCITED BY LASER LIGHT
FROM SEMICONDUCTOR LASER UNIT HAVING INCREASED
RESONATOR LENGTH



April 19, 2000

COMMUNICATION FILING PRIORITY DOCUMENTS

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of the following patent applications:

<u>Country</u>	<u>Serial No.</u>	<u>Filing Date</u>
Japan	11-113482	04/21/99

Priority under the provisions of 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

Respectfully submitted,



Lawrence Rosenthal
Registration No. 24,377
Attorney for Applicant
Stroock & Stroock & Lavan LLP
180 Maiden Lane
New York, New York 10038
(212) 806-5400

"Express Mail" mailing label No.
Number EL 486 725 12505
Date of Deposit 4-19-00
I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

PATRICIA DRISCOLL
Name
Patricia Driscoll
Signature

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 4月21日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第113482号

出 願 人

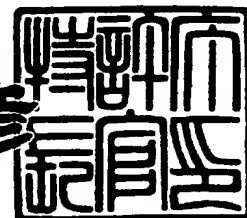
Applicant (s):

富士写真フイルム株式会社

2000年 3月10日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3014743

【書類名】 特許願

【整理番号】 P24349J

【提出日】 平成11年 4月21日

【あて先】 特許庁長官 伊佐山 建志 殿

【国際特許分類】 H01S 3/085

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 大塚 尚

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 岡崎 洋二

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【住所又は居所】 神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代表者】 宗雪 雅幸

【代理人】

【識別番号】 100073184

【住所又は居所】 横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 2 0 B E N E X S - 1 7 階

【弁理士】

【氏名又は名称】 柳田 征史

【電話番号】 045-475-2623

【選任した代理人】

【識別番号】 100090468

【住所又は居所】 横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 2 0 B E N E X S - 1 7 階

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐久間 剛

【電話番号】 045-475-2623

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008969

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9814441

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザー励起固体レーザー

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体レーザーと、該半導体レーザーから発せられる光により励起されレーザー発振する固体レーザーとを備えてなる半導体レーザー励起固体レーザーにおいて

前記半導体レーザーの共振器長が 0.8 mm 以上であることを特徴とする半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項 2】 前記固体レーザーと前記固体レーザーの外部に配置されたミラーにより形成される外部共振器を備えており、該外部共振器内に第 2 高調波を発生する波長変換素子が配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項 3】 前記共振器長が 1 mm 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項 4】 前記共振器長が 1.5 mm 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、固体レーザー結晶を半導体レーザーにより励起しレーザー発振させる半導体レーザー励起固体レーザーに関し、特に励起光源である半導体レーザーにおいて駆動電流増加による波長ズレが制御された半導体レーザー励起固体レーザーに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

現在、固体レーザーにおいては、高出力化と高品質化が求められている。これに対し、ブロードガイドの高出力半導体レーザーを励起光源として用い、ネオジウム(Nd)がドーピングされたYAG、YVO₄あるいはYLF等の固体レーザー結晶を励起し、高出力のレーザー発振を得るものが報告されている。また、固体レ

ザの外部に備えられた外部共振器内に非線形結晶や反転ドメイン LiNdO_3 等の光波長変換素子を配して、固体レーザービームを第2高調波等に変換することも広く行われている。

【0003】

一方、このような半導体レーザー励起固体レーザーにおいては、固体レーザーを安定に駆動させるために、出力光の一部をモニターして、その変動を打ち消すように励起光源にフィードバックを掛ける、いわゆるAPC (automatic power control) 駆動が行われている。このAPC駆動を安定的に行うためには、励起光源である半導体レーザーの出力増加量と固体レーザーの出力増加量の比が1対1になると、すなわち半導体レーザーの出力対固体レーザーの出力直線が単調増加することが不可欠である。

【0004】

しかし、実際には、半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、高出力を得る目的で半導体レーザーの駆動電流を初期駆動の状態から10%、20%と増大させても、固体レーザーの出力はそれに比例して単調増加せず、8%程度増加しただけでその後は飽和してしまうというような問題が発生している。

【0005】

この問題は、固体レーザー結晶の吸収最大となる波長と、半導体レーザーの発振波長とのズレに起因している。すなわち、高出力を得ようとする半導体レーザー励起固体レーザーの励起光源として用いられる半導体レーザーは、放熱量が大きいために、発振波長の駆動電流依存性が高く、駆動電流を上げるに従って発振波長が次第に長波長側にシフトして行き、その結果、固体レーザー結晶の吸収最大となる波長と、半導体レーザーの発振波長とが大きくずれてしまうのである。

【0006】

例えば、半導体レーザーの発する809nmの励起光を受けて、YAG結晶からなる固体レーザーが946nmの光を発振する半導体レーザー励起固体レーザーがあるが、YAG結晶の最大光吸収波長の半値全幅は10nm以下と非常に狭いため、励起光源の波長が数nmずれただけで、YAG結晶の吸収最大となる波長とずれてしまい、励起光を効率良く吸収できないということになる。その結果、上記の

ように、励起パワーつまり半導体レーザの駆動電流を大きく増大させた割には、固体レーザの出力が僅かしか上昇しないということが起こっているのである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

上記のような問題を解決するために、これまで、高出力発振する半導体レーザの放熱効果を高めて、半導体レーザの発振波長の駆動電流依存性を抑制することが行われてきた。本出願人らによる特開平 1 0 - 1 9 0 1 3 1 号に開示されたように、半導体レーザを固定する機械部材の最適化が試みられ、それによって、放熱効率を向上させることができ、半導体レーザの発振波長の駆動電流依存性を従来より良くすることができた。

【0008】

しかし、励起光源である半導体レーザの出力がさらに増加するに従って、この対策だけでは十分な効果が得られなくなるという問題が発生した。

【0009】

そこで、本出願人による特願平 1 1 - 8 2 7 2 3 に示されているように、波長のズレを回避するような駆動面での解決方法が報告されている。しかし、この対策においても、根本的な半導体レーザ自体の特性改善には至っておらず、結局固体レーザの出力の損失が生じてしまいさらなる高出力化は困難となっていた。

【0010】

本発明は上記事情に鑑みて、固体レーザ結晶、半導体レーザから発せられる光により励起しレーザ発振させる半導体レーザ励起固体レーザにおいて、安定した APC 駆動が行われ、高出力発振する半導体レーザ励起固体レーザを提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明による半導体レーザ励起固体レーザは、半導体レーザと、該半導体レーザから発せられる光により励起されレーザ発振する固体レーザとを備えてなる半導体レーザ励起固体レーザにおいて、半導体レーザの共振器長が 0.8 mm 以上であることを特徴とするものである。

【0 0 1 2】

また、本発明による半導体レーザー励起固体レーザーは、固体レーザーと固体レーザーの外部に備えられたミラーにより形成される外部共振器を備えており、該外部共振器内に第2高調波を発生する波長変換素子が配置されていてもよい。

【0 0 1 3】

なお、半導体レーザーの共振器長は1.0 mm以上が好ましく、1.5 mm以上がより好ましい。

【0 0 1 4】

【発明の効果】

本発明の半導体レーザー励起固体レーザーによれば、発熱体である半導体レーザーの共振器長を従来より長い0.8 mm以上としたので、半導体レーザーのヒートシンク等の放熱部材への接地面積を大きくでき、放熱性を向上させることができるので、半導体レーザーの発振波長の駆動電流依存性を大きく改善することができる。

【0 0 1 5】

その結果、半導体レーザーの発振波長が、固体レーザー結晶の吸収最大となる波長からずれることがなくなるため、効率よく固体レーザー結晶を励起することができ、安定した出力を得ることができる。

【0 0 1 6】

また、半導体レーザーの共振器長を従来より長い0.8 mm以上としたので、実質的に発光部の面積が大きくなり動作電流密度を低減することができ、高電流密度に起因する発光部の破壊により起こる半導体レーザーの劣化を回避することができる。よって、レーザー装置の信頼性をも向上することができる。

【0 0 1 7】

【実施の形態】

以下に本発明の実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。

【0 0 1 8】

図1は本発明の第1の実施の形態による半導体レーザー励起固体レーザーの一例を示す図である。

【0019】

この半導体レーザー励起固体レーザーは、励起光としてのレーザービーム10を発する半導体レーザー11と、発散光である上記レーザービーム10を集光する集光レンズ12aおよび12bと、ネオジウム(Nd)がドーピングされた固体レーザー媒質であるYLF結晶(以下、Nd:YLF結晶と称する)13と、このNd:YLF結晶13の前方側つまり半導体レーザー11と反対側に配された共振器ミラー14と、Nd:YLF結晶13の前後に配されたツイスト・モード化のための $\lambda/4$ 板15、16とを有している。

【0020】

また $\lambda/4$ 板16と共振器ミラー14との間には、 $\lambda/4$ 板16側から順に光波長変換素子17、偏光制御素子18および波長選択素子19が配置されている。そして、共振器ミラー14の外側には後述のようにして発せられる第2高調波21を一部分岐させるビームスプリッター22が配置され、分岐された第2高調波21は例えばフォトダイオード等からなる光検出器23に受光されるようになっている。この光検出器23の出力は、APC回路24に入力される。

【0021】

上記半導体レーザー11および集光レンズ12a、12bからなる励起部は例えば銅等からなるマウント30に保持され、図示しない温度制御素子および温調回路によって所定温度に保たれる。

【0022】

なお、本実施の形態においては光波長変換素子17は、MgOがドーピングされたLiNbO₃結晶に周期ドメイン反転構造が形成されてなるものが用いられている。また、偏光制御素子18はブリュースター板からなり、波長選択素子19としてはエタロンが用いられている。

【0023】

一方、半導体レーザー11としては、波長797nmのレーザービーム10を発するものが用いられている。Nd:YLF結晶13は入射したレーザービーム10によってネオジウムイオンが励起されて、波長1313nmの光を発する。

【0024】

$\lambda/4$ 板15の外側端面（凹面ミラー）15aには波長797nmの励起用レーザービーム10は良好に透過させ、波長1313nmの光および後述の波長657nmの光は良好に反射させるコートが施されている。一方共振器ミラー14のミラー面14aには励起用レーザービーム10および波長1313nmの光は良好に反射させ、波長657nmの光は一部透過させるコートが施されている。

【0025】

従って、上記波長1313nmの光はミラー面15a、14a間で共振してレーザー発振を引き起こし、こうして発生した波長1313nmの固体レーザービーム20は光波長変換素子17により、波長が1/2つまり657nmの第2高調波21に変換される。

【0026】

以上の説明から明らかな通り本実施の形態では、 $\lambda/4$ 板15および共振器ミラー14により、ファブリー・ペロー型の固体レーザー共振器が構成されており、共振器ミラー14からはほぼ第2高調波21のみが出射する。なお、固体レーザービーム20は（つまり第2高調波21は）偏光制御素子18によって直線偏光の向きが制御され、また波長選択素子19の作用で単一モード化される。

【0027】

共振器ミラー14から出射した第2高調波21はビームスプリッター22によって一部分岐され、分岐された第2高調波21は光検出器23に受光され、光検出器23はこの第2高調波21の強度を検出し、その出力はAPC回路24に入力される。APC回路24は光検出器23の出力に基づいて半導体レーザー11の駆動電流を制御することにより第2高調波21の強度を一定に保持する。

【0028】

（実施例）

半導体レーザーの共振器長がそれぞれ、0.5mm、0.75mm（従来品）、1mm、1.5mm、2mm、3mmである、第2高調波を発生する5つの半導体レーザー励起固体レーザーを作成し、固体レーザーの出力特性を測定した。図2にこれらの半導体レーザー励起固体レーザーにおける半導体レーザーの出力と固体レーザーの

出力（第 2 高調波出力）の関係を示す。この図は横軸に励起光源である半導体レーザの出力を、縦軸に固体レーザの出力を示している。

【0029】

図 2 の b に示すように、共振器長 0.75 mm の従来の半導体レーザでは、半導体レーザの出力を 2.0 W から 2.2 W に増加（10% 増加）すると、第 2 高調波出力は初期出力から 4 % しか向上しておらず、固体レーザが効率良く励起されていないことが判る。しかし、図 2 の d に示すように、半導体レーザの共振器長を 1.5 mm にすると、半導体レーザの 10% の出力増加に対して、固体レーザの出力増加は 8 % であり、従来品と比べると、2 倍も出力を上げることができた。さらに共振器長を長くするに従い、固体レーザの出力を上げることができ、図 2 の f に示すように、共振器長 3.0 mm では半導体レーザの出力増加量と固体レーザの出力増加量の比が 1 対 1 であり、理想的な出力特性が得られた。

【0030】

図 3 に半導体レーザにおける波長シフト量の共振器長依存性を示す。ここで示すブロックシステムとは、半導体レーザが固定部材に簡単に接着されたものであり、冷却能力がないものを示し、LD パッケージとは半導体レーザが放熱板等に接着され、冷却装置を備えたものを示す。図 3 に示すように、共振器長が 1.0 mm であり、LD パッケージに装着された場合は波長シフト量は約 1.4 nm/A であり、共振器長を 1.5 mm に長くすると、波長シフト量を約 1.1 nm/A ~ 1.3 nm/A に低減することができる。

【0031】

よって共振器長を 1.0 mm 以上、好ましくは 1.5 mm 以上にすることにより、波長シフト量を固体レーザの吸収帯幅以内に制御することができ、安定なレーザ出力を得ることができる。またこのグラフには記載していないが、共振器長をさらに大きくすると、波長シフト量を 1 nm/A 以下に低減することができ、安定な光出力を得ることができる。

【0032】

本実施の形態においては、外部共振器内に波長変換素子を挿入し第 2 高調波を発生させるレーザ装置について説明したが、本発明は、波長変換素子を用いない

で固体レーザからの出力をそのまま取り出す他の固体レーザ装置においても同様な効果があり、全ての半導体レーザ励起固体レーザに有効である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態による半導体レーザ励起固体レーザを示す図

【図 2】

本発明と第 1 の実施の形態による半導体レーザ励起固体レーザの半導体レーザ出力対第 2 高調波出力特性を示すグラフ

【図 3】

波長シフト量の共振器長依存を示すグラフ

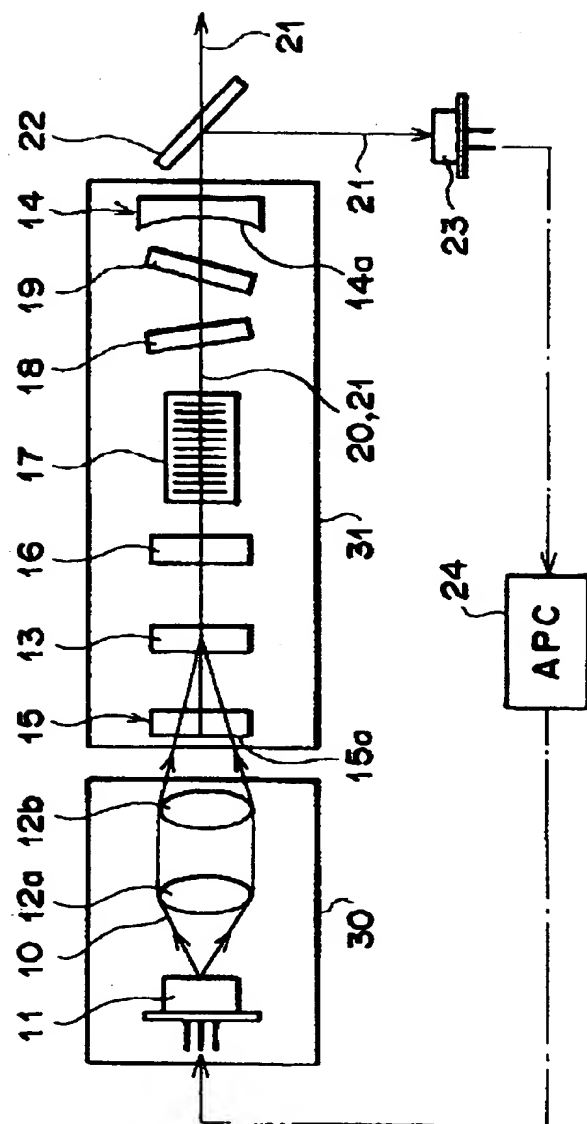
【符号の説明】

- 11 半導体レーザ
- 13 Y L F 結晶
- 14 共振器ミラー
- 19 波長選択素子
- 23 光検出器
- 24 A P C 回路

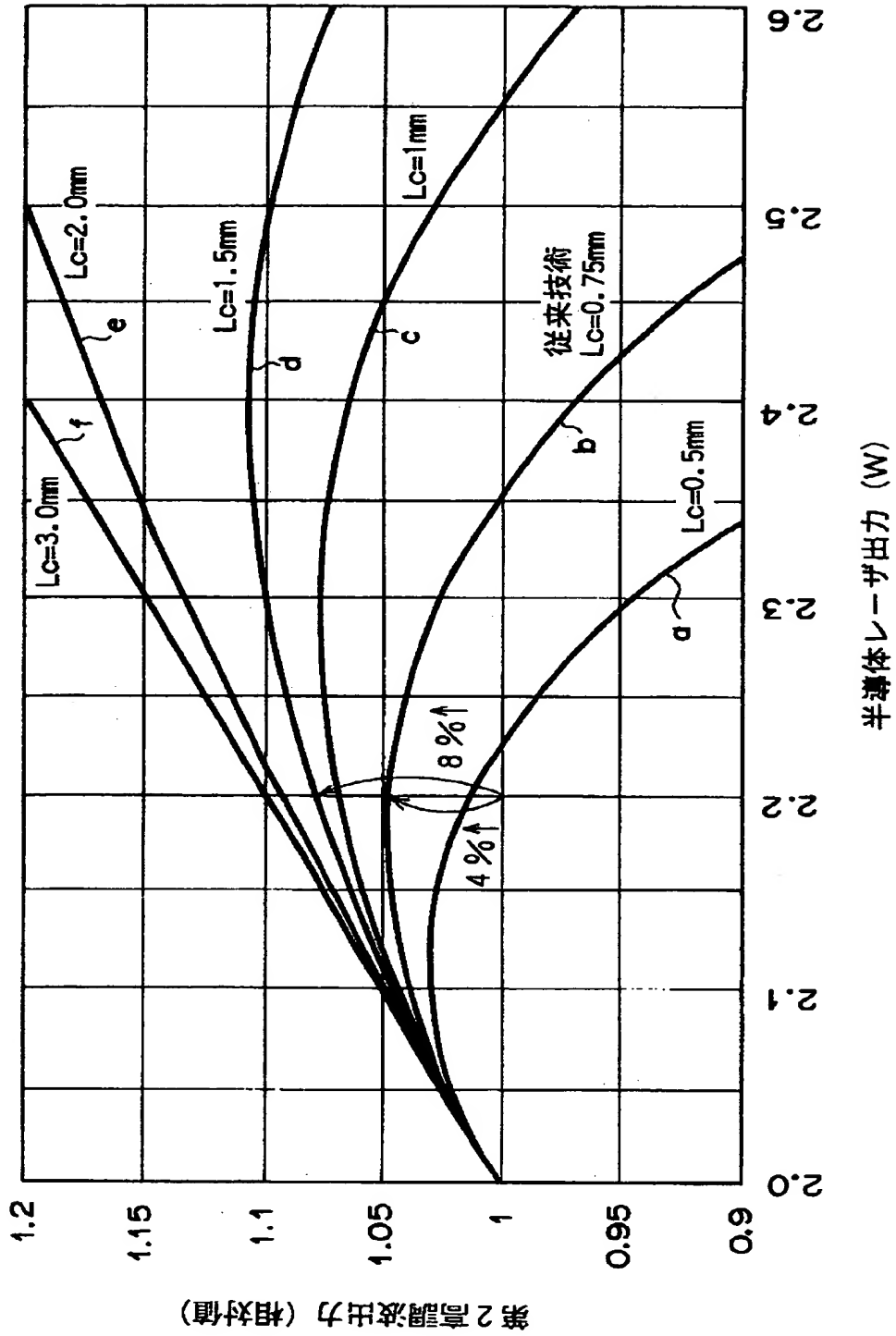
【書類名】

図面

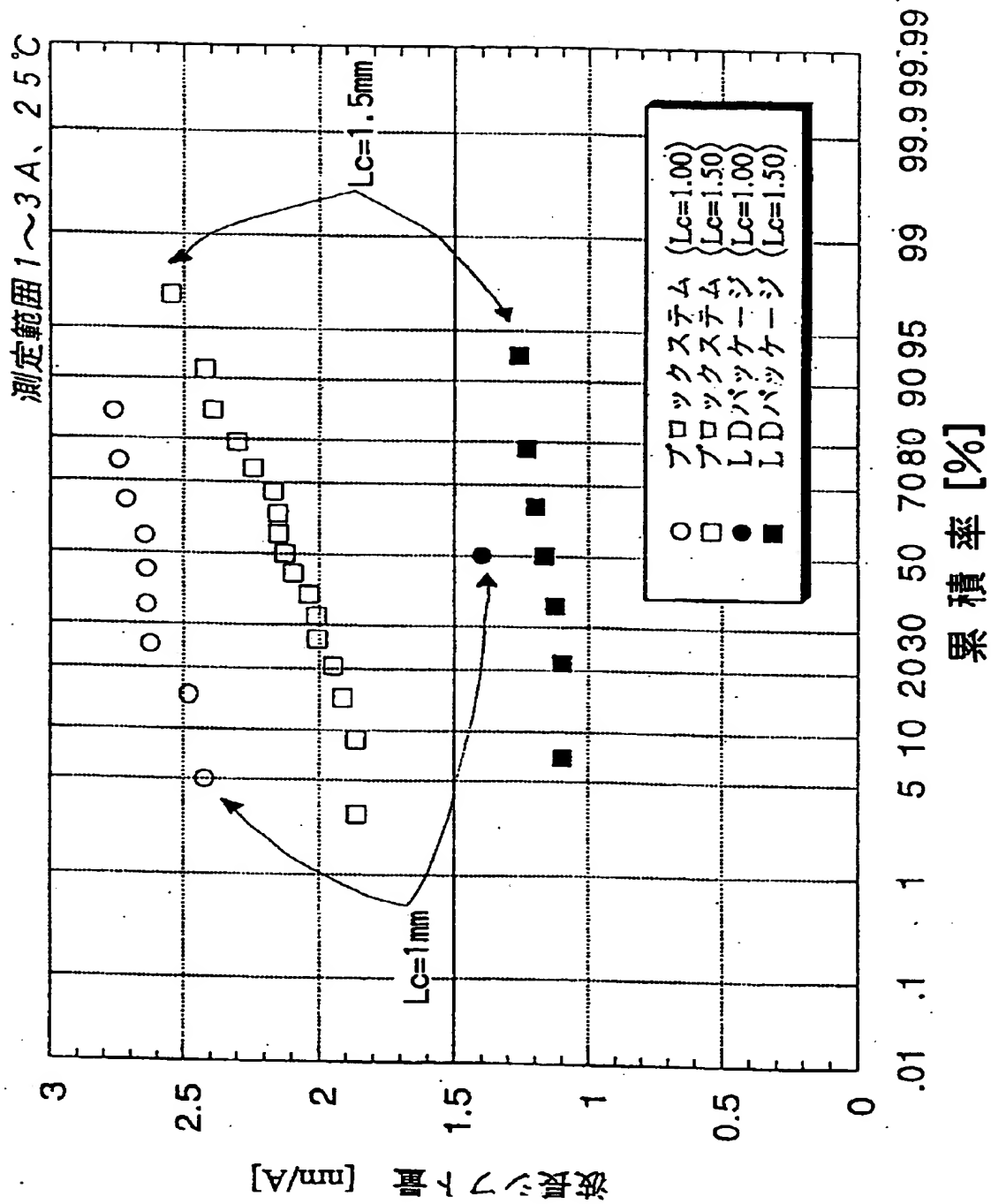
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体レーザ励起固体レーザにおいて、半導体レーザの駆動電流増加に伴う波長ズレを防止し、安定な高出力発振を得る。

【解決手段】 半導体レーザ励起固体レーザの励起光源である半導体レーザ11の共振器長を0.8 mm以上とする。好ましくは1.0 mm以上、より好ましくは1.5 mm以上とする。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第113482号
受付番号	59900382501
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0091
作成日	平成11年 4月23日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】

000005201

【住所又は居所】

神奈川県南足柄市中沼210番地

【氏名又は名称】

富士写真フイルム株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】

100073184

【住所又は居所】

神奈川県横浜市港北区新横浜3-18-20 B

ENEX S-1 7階 柳田国際特許事務所

【氏名又は名称】

柳田 征史

【選任した代理人】

【識別番号】

100090468

【住所又は居所】

神奈川県横浜市港北区新横浜3-18-20 B

ENEX S-1 7階 柳田国際特許事務所

【氏名又は名称】

佐久間 剛

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日

 [変更理由] 新規登録

 住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地

 氏 名 富士写真フイルム株式会社